Adam BLOKESZ[1]

Opiekun naukowy: Jacek RYSIŃSKI[2]

PROJEKT, ANALIZA ORAZ STEROWANIE MANIPULATOREM HYDRAULICZNYM

Streszczenie: W prezentowanej pracy przedstawiono przykładowy projekt manipulatora hydraulicznego. Wykonano kompletną dokumentację konstrukcyjną. Przeprowadzono niezbędne obliczenia wstępne oraz wytrzymałościowe.

Słowa kluczowe: manipulator hydrauliczny, konstrukcja, obliczenia

HYDRAULIC MANIPULATOR DESIGN, ANALYSIS AND CONTROL

Summary: In the present paper, an exemplary design solution of a hydraulic manipulator is described and discussed. The complete technical documentation had been prepared. The necessary introductory as well as strength calculations have been performed.

Keywords: hydraulic manipulator, design, analysis, calculation

1. Wstęp

Rozwój techniki umożliwił szybkie prototypowanie oraz projektowanie maszyn i urządzeń, które obecnie charakteryzują się dużą niezawodnością, stosunkowo niskim kosztem wytwarzania oraz dużą funkcjonalnością. Potrafią wspomagać pracę człowieka, lub zastąpić go w przypadku prowadzenia prac w środowisku niebezpiecznym. Jak można zaobserwować, często do tych celów wykorzystuje się manipulatory, które definiowane są jako urządzenia techniczne naśladujące manipulacyjne i wysięgnikowe ruchy kończyny górnej człowieka. Manipulacyjne oznacza, że ruch jest realizowany przez chwytak, natomiast wysięgnikowe - wykonywane przez ramię manipulatora. Manipulatory składają się z szeregu ogniw połączonych złączami, które tworzą pojedynczy łańcuch kinematyczny. Na końcu

[1] inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, specjalność: KWKiW CAD/CAM, email: blokeszadam@gmail.com
[2] dr inż., Akademia Techniczno-Humanistyczna, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, email: jrysinski@ath.bielsko.pl

łańcucha kinematycznego można znaleźć efektor, którym może być wcześniej wspomniany chwytak lub odpowiednie narzędzie do wykonywania zadanych czynności. Owe ogniwa napędzane są tzw. zespołami napędowymi, czyli silnikami wraz z przekładniami albo siłownikami. Można, zatem stwierdzić, że manipulator wykonuje pracę robota przemysłowego. Dlatego pojęcie robota i manipulatora jest utożsamiane, ale nie jest to poprawne [1, 2, 7, 8,].
Istotną różnicą, która odróżnia roboty od manipulatorów jest ich uniwersalność. Oznacza to, że jest możliwość zastosowania tego samego urządzenia technicznego do realizacji różnych funkcji w procesie produkcji. Jednak należy pamiętać, że wymaga to zapewnienia większych możliwości ruchowych oraz realizacji mniej lub bardziej złożonych czynności związanych z procesem sterowania ruchem. Zastosowanie robotów obejmuje obszar w procesach produkcyjnych mało i średnioseryjnych, przy operacjach technologicznych uciążliwych lub niebezpiecznych dla człowieka m. in. obsługi maszyn, spawania, jaki i zgrzewania, szlifowanie, polerowanie, malowanie, odlewnictwa, montażu. Szczególnie jest to widoczne w przemyśle motoryzacyjnym [1, 7, 10, 11, 12].

W przypadku niniejszej pracy skupiono się wyłącznie na projekcie manipulatora. Biorąc pod uwagę rodzaj połączeń, sposób przemieszczania się bądź określając kryterium własności geometrycznych - manipulatory przemysłowe są klasyfikowane, jako [3, 7, 122]:

- kartezjańskie - zaliczane do najprostszych urządzeń technicznych ze względu na to, że wszystkie złącza są przesuwne i zapewniają ruchy wzdłuż osi X, Y, Z prostokątnego układu kartezjańskiego,
- cylindryczne - poziome ramię zamontowano na obrotowej kolumnie, może poruszać się w kierunku pionowym oraz poziomym. W takiej budowie kolumna wykonuje ruch obrotowy natomiast ramię może być podnoszone lub opuszane wzdłuż kolumny oraz może się wysuwać w kierunku poziomym,
- sferyczne,
- typu SCARA,
- wyłącznie ze złączami obrotowymi.

We współczesnych układach wykonawczych powszechnie stosowane są napędy: pneumatyczne, hydrauliczne, elektryczne oraz ich kombinacje [1, 5, 8]. Każde urządzenie lub automat może być wyposażony w układ siłowników rozmieszczonych odpowiednio na elementach ruchowych, tworząc jego napęd. Sterowanie może odbywać się poprzez zastosowanie rozdzielaczy sekcyjnych albo monoblokowych. Każde z przedstawionych rozwiązań napędów posiada wady jak i zalety, jednakże medium zastosowane do sterowania układem będzie determinowało rozwiązanie konstrukcyjne. Jak wiadomo sterowanie hydrauliczne wymaga większych ciśnień, ale za to medium, jakim jest olej hydrauliczny nie podlega zmianom w swojej objętości. Zasilanie pneumatyczne wymaga mniejszego ciśnienie natomiast pojawia się problem z brakiem smarowania w połączeniach ruchomych. Sterowanie elektryczne wymaga stałego dopływu prądu elektrycznego jednak sterowanie jest najbardziej dokładne.
Jednakże projektując układy mechaniczne, które mają przenosić znaczne obciążenia to najlepszym pod względem jest zasilanie oraz sterowanie hydrauliczne. Stosując rozdzielacze proporcjonalne istnieje możliwość zwiększenia dokładności sterowania hydrauliką siłową. Przy odpowiednim doborze pompy hydraulicznej, siłowników hydraulicznych, rozdzielaczy i kart sterujących można uzyskać w pełni

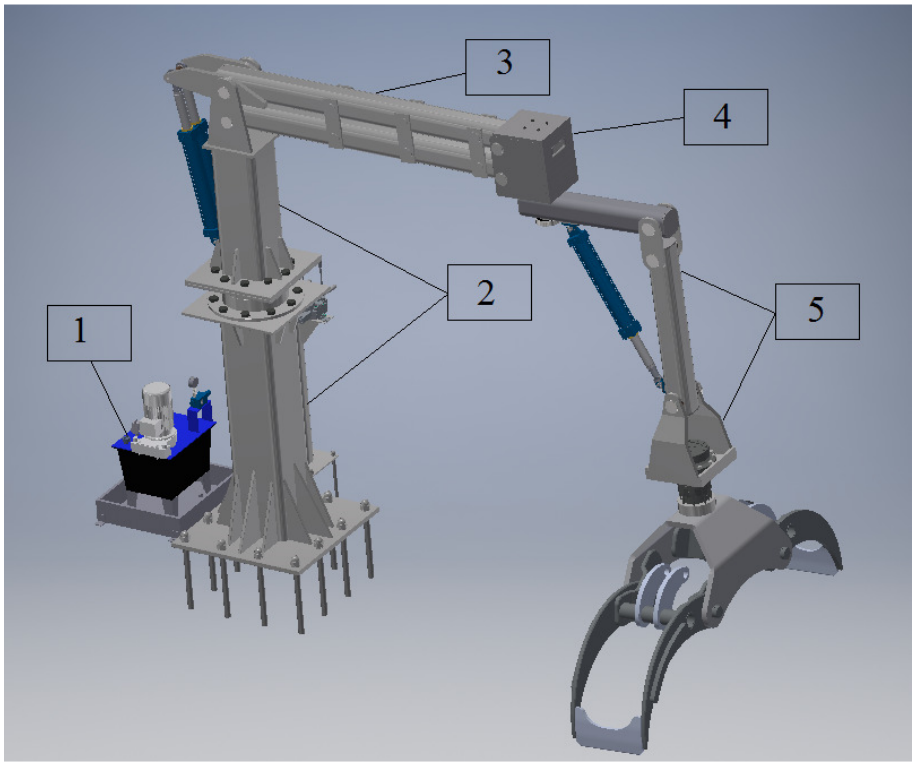
zautomatyzowany manipulator hydrauliczny, który zastąpi niektóre czynności, które wykonuje człowiek na linii produkcyjnej [5, 6, 9].

W ramach niniejszej pracy wykonano projekt manipulatora o udźwigu 15kN, w którym zastosowano napęd hydrauliczny. Na podstawie wykonanego przeglądu literatury zdecydowano się na zastosowanie typowych elementów sterowania hydraulicznego uznanych producentów.

2. Projekt manipulatora

2.1. Konstrukcja mechaniczna

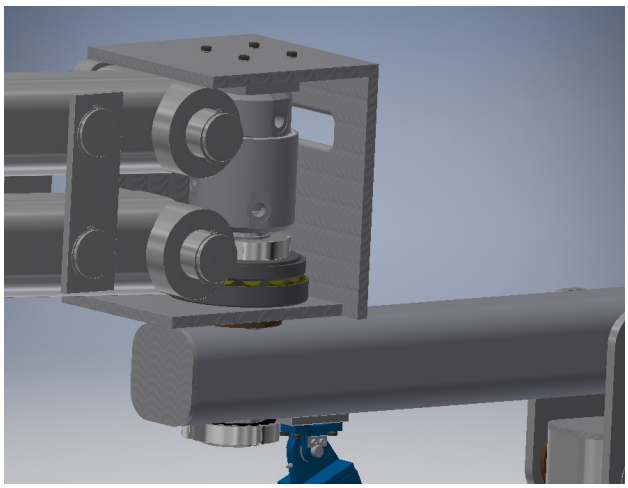
Projekt manipulatora hydraulicznego wraz z kompletną dokumentacją techniczną przygotowano w programie Autodesk Inventor Professional 2016. Model 3D manipulatora przedstawiono na rys. 1. Do głównych elementów konstrukcji zaliczy się: zasilacz hydrauliczny wraz ze sterowaniem, kolumna pionowa, ramie poziome, zespół łącznika, profil chwytaka wraz z rotorem hydraulicznym.



Rysunek 1. Model 3D manipulatora hydraulicznego: 1 - zasilacz hydrauliczny wraz ze sterowaniem, 2 - kolumna pionowa, 3 - ramię poziome, 4 - zespół łącznika, 5 - chwytak wraz z rotorem hydraulicznym

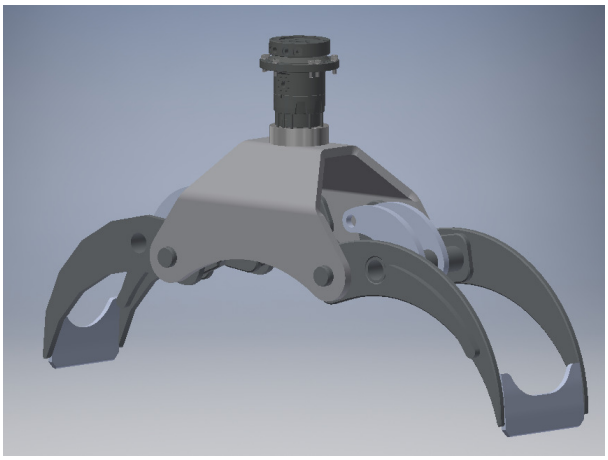
W skład kolumny pionowej 2 (rys. 1) wchodzi podstawa, elementy profilowe, obudowa łożyska oraz siłowniki hydrauliczne (jako element współpracujący

z ramieniem poziomym). Podstawa przytwierdzona jest do podłoża betonowego tworząc w ten sposób solidną bazę do pracy manipulatora. Kolumna wykonana jest z profili o przekroju kwadratu. Zadaniem całej kolumny jest obrót wokół osi pionowej o 270º. Siłowniki hydrauliczne zamontowane w górnej części kolumny mają za zadanie podnieść ramie poziome wraz z ciężarem, które operator będzie przenosił w inne miejsce bądź paletyzował do dalszego transportu.
Zadaniem zespołu łącznika 4 (rys. 1, rys.2) jest obrót wokół osi pionowej o 180º. W skład zespołu łącznika wchodzi łożysko baryłkowe wzdłużne, rotor hydrauliczny, wał oraz obudowa wraz ze sworzniami.



Rysunek 2. Zespół łącznika

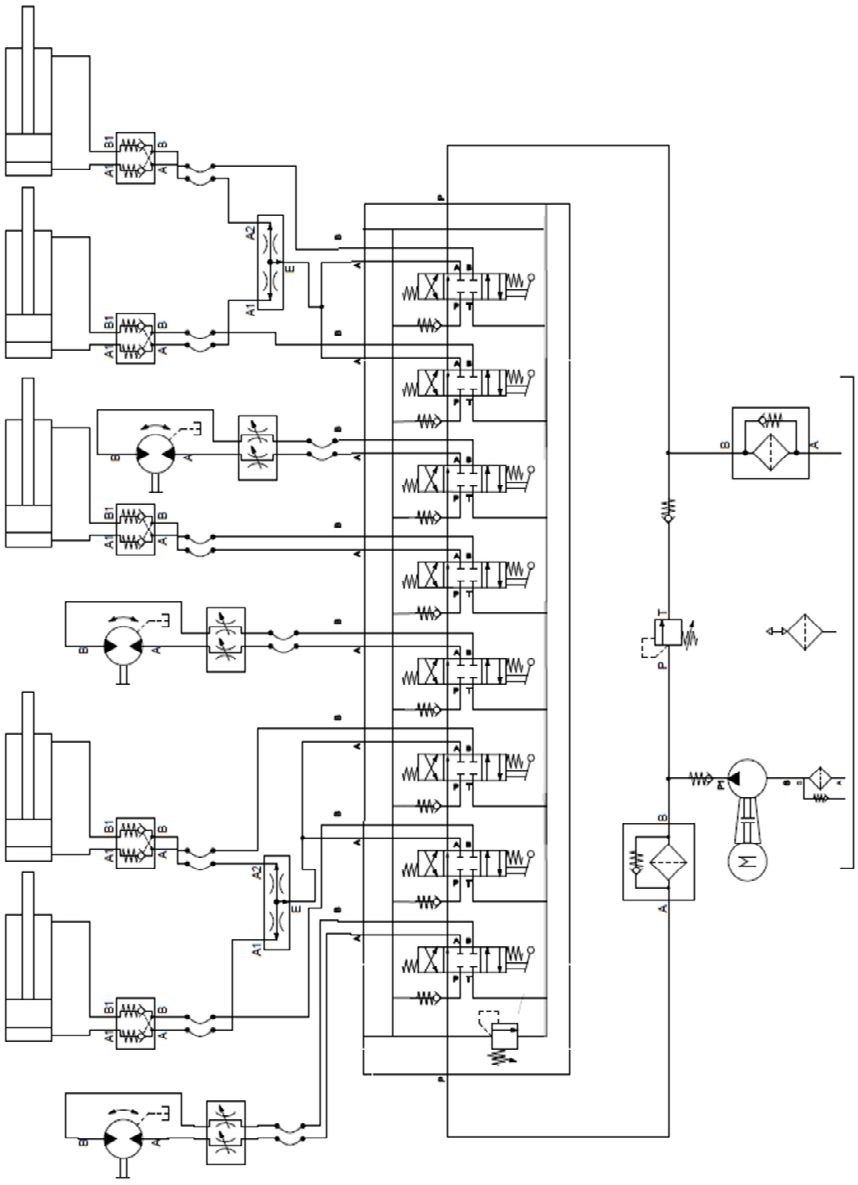
W przypadku chwytaka zdecydowano się na zastosowanie typowego rozwiązania stosowanego w takich konstrukcjach (rys. 3).



Rysunek 3. Rotor hydrauliczny wraz z przykładowym chwytakiem - dostępne modele na stronie GrabCad Community

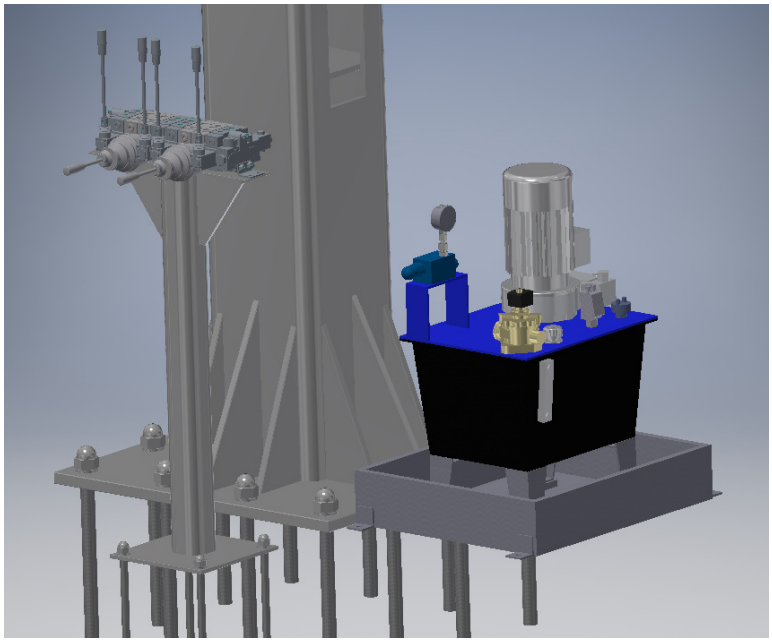
2.2. Układ sterowania hydraulicznego

Przystępując do wykonania projektu hydraulicznego, należało uwzględnić wszystkie wymagania konstrukcyjne, zasady bezpieczeństwa układów wykonawczych oraz wykonać niezbędne obliczenia. Na tej podstawie przygotowano schemat instalacji zasilania hydraulicznego (rys. 4).



Rysunek 4. Schemat układu hydraulicznego dla opracowanego modelu 3D manipulatora

Głównym elementem sterowania jest zasilacz hydrauliczny 1 (rys.1) wraz z rozdzielaczem sekcyjnym (rys. 5). Zadaniem rozdzielacza jest sterowaniem manipulatorem poprzez siłowniki hydrauliczne oraz przetworniki energii hydraulicznej (rotory hydrauliczne). Zasilacz hydrauliczny stanowi punkt wyjścia do zaprojektowania całej konstrukcji. Odpowiedni dobór pompy, silnika elektrycznego oraz siłowników hydraulicznych pozwoli na poprawną i bezpieczną pracę urządzenia.

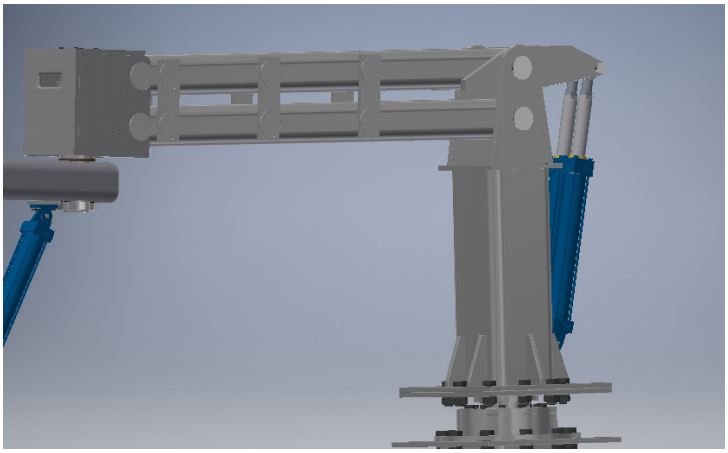


Rysunek 5. Zasilacz hydrauliczny wraz z sterowaniem

Sterowanie ramieniem poziomym 3 (w górę i w dół – rys. 1, rys. 5) odbywa się za pomocą dwóch siłowników hydraulicznych, które pracują równocześnie przenosząc zadane obciążenie. Zastosowanie pary siłowników zapewnia większe bezpieczeństwo pracy w przypadku przecieku w uszczelnieniu, uszkodzeniu przewodu hydraulicznego (rys. 6).

Siłowniki sterowane są za pomocą rozdzielacze sekcyjnego hydraulicznego. Jedna dźwignia steruje dwoma sekcjami jednocześnie. Dzięki takiemu rozwiązaniu oba siłowniki po otrzymaniu ciśnienia hydraulicznego zaczną swoją pracę. Innym rozwiązaniem może być sterowanie jedną sekcją poprzez wykorzystanie dzielnika zębatego, który będzie równomiernie dzielił 50: 50 strumień cieczy hydraulicznej.

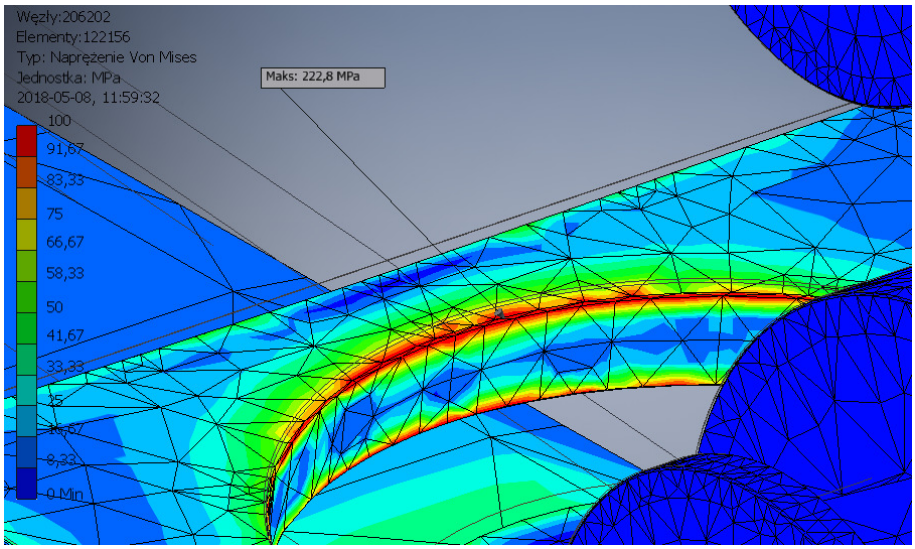
Do realizacji obrotu wykorzystano rotor hydrauliczny (obrotnica) – jest to rodzaj silnika hydraulicznego służącego do obracania w lewo i w prawo ładunków przenoszonych przez harvestery, forwardersy, żurawie i ładowarki. Łatwość montażu tego narzędzia oraz łatwość sterowania sprawia, że rotatory powszechnie instalowane są w różnego rodzajach prac m.in. leśnych i przemysłowych.



Rysunek 6. Ramię poziome

2.3. Analiza konstrukcji

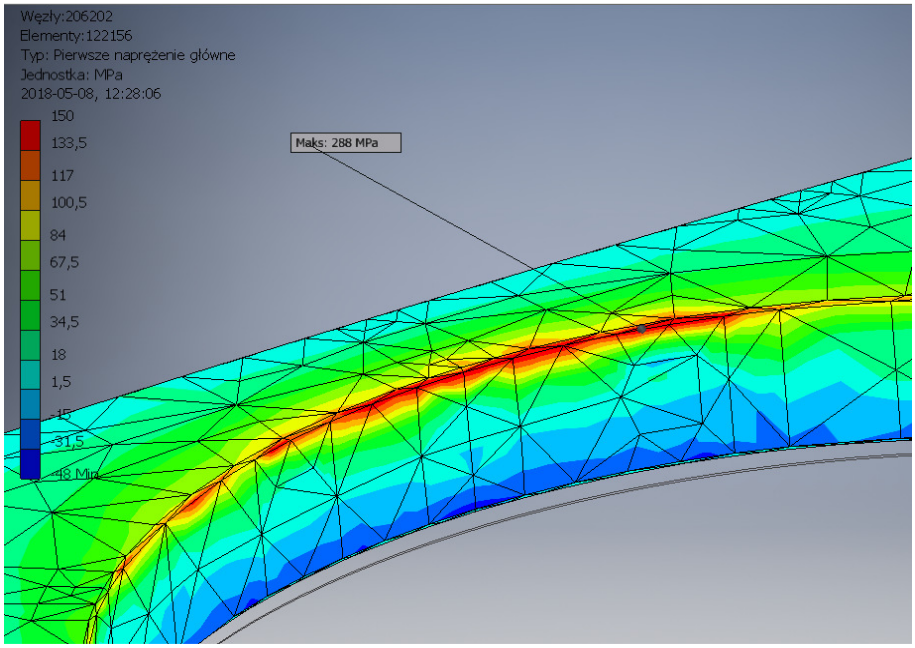
W prezentowanej pracy wykonano klasyczne obliczenia wytrzymałościowe wybranych elementów konstrukcji, jak i skorzystano z możliwości, jakie daje Autodesk Inventor Professional. Przygotowany model 3D konstrukcji poddano pod działanie obciążeń zewnętrznych. Przykładowe wyniki analizy przedstawiono na rys. 7 oraz 8.



Rysunek 7. Rozkład naprężeń zredukowanych w płaszczyźnie obrotu kolumny pionowej

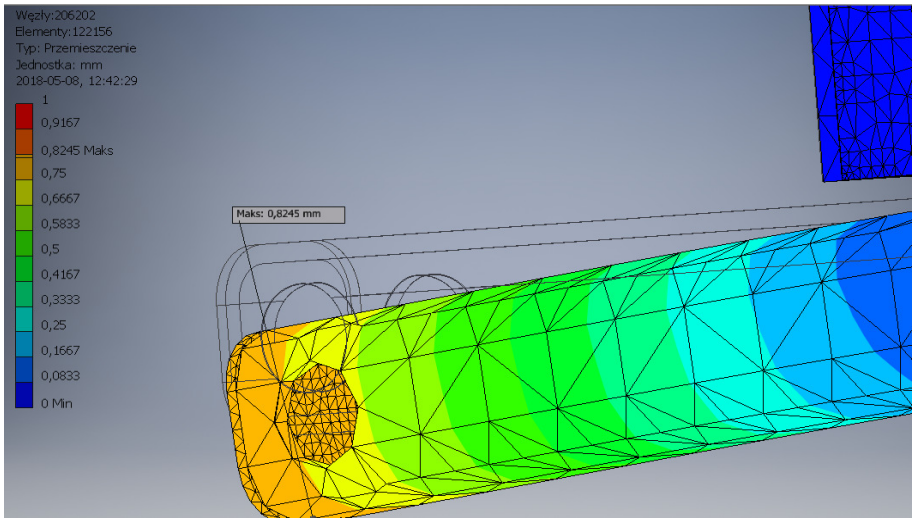
Na podstawie przeprowadzonej analizy numerycznej stwierdzono, iż największe obciążenia będą przenoszone w płaszczyźnie obrotu kolumny pionowej. Z analizy wynika, że maksymalne naprężenie, jakie powstaje pod wpływem obciążeniu 15kN

wynosi 222,8MPa. Jest ono mniejsze od naprężeń dopuszczalnych równych $\sigma_{dop} = 335\,\mathrm{MPa}$.



Rysunek 8. Rozkład naprężeń normalnych w płaszczyźnie obrotu kolumny pionowej

Wykonano także analizę ugięcia ramienia manipulatora. Maksymalne przemieszczenia analizowanego ramienia modelu wyniosło 0,8245mm i nie wpływa na pracę manipulatora hydraulicznego.



Rysunek 9. Analiza przemieszczeń końcówki ramienia manipulatora pod działaniem obciążenia maksymalnego

3. Podsumowanie

Głównym celem pracy było wykonanie projektu manipulatora hydraulicznego o udźwigu 15kN. Korpus manipulatora składa się z podzespołów spawanych oraz skręcanych. Wykonano niezbędne obliczenia konstrukcyjne oraz przeprowadzono symulacje numeryczne na podstawie, których stwierdzono, że konstrukcja przeniesie założone obciążenie i jest bezpieczna.

Najbardziej obciążonym elementem konstrukcji będzie kolumna pionowa. Jednakże maksymalne naprężenie pod działaniem obciążenia 15kN wyniosło 222,8MPa i jest mniejsze od naprężeń dopuszczalnych. Sprawdzono także ugięcie ramienia roboczego pod działaniem maksymalnego obciążenia. Maksymalne przemieszczenia analizowanego ramienia modelu wyniosło 0,8245mm i nie wpływa na pracę manipulatora hydraulicznego.

Dzięki wykorzystaniu rozdzielacza hydraulicznego 8 sekcyjnego można sterować w pełni każdym ramieniem bądź zespołem w sposób płynny nie narażając operatora na utratę zdrowia bądź życia. Istotne jest to, że praca staje się bezpieczna a czynności i zadania, które ma wykonać operator skracają się w czasie do minimum. Manipulator hydrauliczny jest istotnym narzędziem pracy wszędzie tam gdzie wymagane jest użycie dużej siły. Ponadto podstawową zaletą układu hydraulicznego jest wysoki wskaźnik przenoszonej mocy do objętości i masy potrzebnych do pracy urządzeń.

Zalety stosowania:

- możliwość uzyskania małych prędkości ruchu elementu wykonawczego bez konieczności stosowanie przekładni,
- mała wrażliwość na zmiany obciążenia i przeciążenia,
- łatwość sterowania.

Wady:

- duży hałas wytworzony przez pompę,
- zanieczyszczenia wywołane wyciekiem oleju,
- zmienna temperatura otoczenia jak układu powoduje zmiany lepkości medium,
- wrażliwość na zanieczyszczenia czynnika roboczego.

Manipulatory przemysłowe charakteryzują się wszechstronnym zastosowaniem, budową oraz napędem. Wykorzystywane są w przemyśle leśnym, produkcyjnym. Dzięki zastosowaniu chwytaków o różnorodnej konstrukcji możliwe jest zastosowanie ich w różnych dziedzinach życia. Zastosowanie chwytaka z przyssawkami umożliwi przenoszenie szyb okiennych do dalszego montażu. To, w jaki sposób będzie zaprojektowany manipulator w dużej mierze zależy od jego przeznaczenia oraz projektu wykonawczego przez konstruktora.

LITERATURA

1. MORECKI A.: Obecny stan robotyki i perspektywy rozwoju w Polsce, Pomiary Automatyka Kontrola, 1(2006), 30-33.
2. Serwis internetowy Zakładu Sterowania Robotów - prof. E. Jezierski: Wprowadzenie do współczesnej inżynierii.” cz. IV Automatyka i robotyka:

http://www.zsrdrupal.p.lodz.pl/sites/default/files/attachments/wdw_iva.pdf, 01.11.2017.
3. Serwis internetowy Katedra Cybernetyki i Robotyki K-7 - Roboty przemysłowe - wybrane pojęcia, budowa, zastosowania, przykłady: *http://rab.ict.pwr.wroc.pl/~wojtek/Podstawy%20Automatyki%20i%20Robotyki/Robotyka_1_2018L.pdf*, 01.11.2017.
4. JEZIERSKI E.: Dynamika robotów, WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006.
5. NIEZGODA J., POMIERSKI W.: Sterowanie pneumatyczne ćwiczenia laboratoryjne, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 1998.
6. LEWANDOWSKI D. i inni.: Pneumatyka i hydraulika urządzeń mechanicznych – laboratorium. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 1999.
7. MORECKI A., KNAPCZYK J.: Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1999.
8. NIEDERLIŃSKI A.: Roboty przemysłowe, WSiP, Warszawa 1981.
9. SPONG M. W., VIDYASAGAR M.: Dynamika i sterowanie robotów, WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1997.
10. TCHOŃ K., MAZUR A., DULĘBA I., HOSSA R., MUSZYŃSKI R.: Manipulatory i roboty mobilne, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa 2000.
11. OLSZEWSKI M., BARCZYK J., FALKOWSKI J. L., KOŚCIELNY W. J.: Manipulatory i roboty przemysłowe - automatyczne maszyny manipulacyjne, WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1992.
12. CRAIG J.J.: Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1995.
13. BLOKESZ A.: Projekt manipulatora hydraulicznego o udźwigu 50kg – praca dyplomowa inżynierska, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Bielsko-Biała 2017.